

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY  
sekcia geológie a prírodných zdrojov

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA

**MONITORING OBJEMOVEJ AKTIVITY  
RADÓNU V GEOLOGICKOM PROSTREDÍ  
NA ÚZEMÍ SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

***S P R Á V A   za obdobie: rok 2006***

Hlavný riešiteľ:      RNDr. Alena Klukanová, CSc.

Správu vypracoval: RNDr. Helena Smolárová  
*riešiteľ podsystemu 05*

január 2007

## **ZOZNAM OBRÁZKOV:**

- Obr. č. 1** - Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2006
- Obr. č. 2** - Pôdny radón - monitoring objemovej aktivity radónu v rokoch 2001 – 2006 v lokalite Novoveská Huta
- Obr. č. 3** - Pôdny radón - tretí kvartil objemovej aktivity radónu v priebehu roka, v období 2001 – 2006 v lokalite Novoveská Huta
- Obr. č. 4** - Pôdny radón – tretí kvartil objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2006 v lokalite Teplička
- Obr. č. 5** - Monitoring objemovej aktivity radónu nad zlomom, obdobie 2001–2006 v lokalite Grajnár
- Obr. č. 6** - Monitoring objemovej aktivity radónu v podzemných vodách v období 2001 – 2006, prameň sv. Ondreja
- Obr. č. 7** - Monitoring objemovej aktivity radónu v podzemných vodách v rokoch 2001 – 2006, prameň Boženy Němcovej

## **ZOZNAM TABULIEK:**

- Tab. č. 1** - Stanovenie kategórie radónového rizika referenčnej plochy
- Tab. č. 2** - Stanovenie plynopriepustnosti pôd
- Tab. č. 3** - Štatistické spracovanie meraní radónu v pôde na referenčných plochách
- Tab. č. 4** - Radón vo vodách - monitoring 2006
- Tab. č. 5** - Radón vo vodách - štatistické vyhodnotenie 1998 – 2006

## OBSAH

	Zoznam tabuliek a obrázkov	2
	Obsah	3
1.	Úvod	4
2.	Metodika prác	5
3.	Prehľad a výsledky urobených prác	8
3.1	Pôdny radón na referenčných plochách (RP) – zvýšené radónové riziko vybraných miest	9
3.2	Pôdny radón na tektonike	12
3.3	Radón vo vodách	13
4.	Záver	15
5.	Literatúra	18

**Úloha:** Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky.

**Číslo:** IG-2

Čiastková úloha – podsystém 05 :

**Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky.**

**Vypracoval:** RNDr. Helena Smolárová, Spišská Nová Ves

január 2007

---

## **1. Ú V O D**

Medzi významné geologické faktory životného prostredia s negatívnym dopadom na živé organizmy nesporne patrí rádioaktivita. Potvrdzujú to výsledky výskumov renomovaných svetových vedeckých inštitúcií (ICRP – medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu; Vedecký výbor OSN), ktoré uvádzajú, že viac než 80 % radiačnej záťaže obyvateľstva pochádza práve z prírodných zdrojov žiarenia, pričom rozhodujúci príspevok (cca 52 %) je zo žiarenia radónu a produktov jeho rozpadu. Úroveň prírodnej rádioaktivity na Slovensku presahuje globálny priemer, preto je nanajvýš oprávnené venovať pozornosť tomuto fenoménu v životnom prostredí.

Geologické práce v podsystéme ČMS č. 05 „Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky“ v roku 2006 prebiehali v súlade so schválenou koncepciou pre roky 2005 – 2010. V porovnaní z predošlým rokom bol rozsah monitorovania ešte rozšírený o ďalšie lokality obnovením monitoringu pôdneho radónu na lokalite Košice a objemovej aktivity radónu vo vodách na lokalite Oravice a Ladmovce.

Monitorovacie práce v danej časti projektu tvoria hlavne geofyzikálne merania v terénnych a laboratórnych podmienkach a ich vyhodnocovanie na 14 lokalitách v rámci celého územia Slovenska.

## 2. METODIKA PRÁC

Hlavným zdrojom radónu v prírode je geologické prostredie t.j. niektoré horniny, ale aj podzemné vody, prechádzajúce horninami so zvýšeným obsahom rádia. Nakoľko radón je rádioaktívny plyn s výraznými migračnými vlastnosťami, jeho obsahy v pôde i vo vodách nie sú stabilné a závisia nielen od koncentrácií rádia v hornine, ale aj ďalších faktorov ovplyvňujúcich jeho šírenie (priepustnosť, tektonické porušenie a klimatické resp. meteorologické podmienky ako vlhkosť, teplota, tlak, ...). Cieľom monitorovacích prác v danej časti projektu je práve zachytenie prípadných zmien koncentrácií radónu, celkové vyhodnotenie a posúdenie možných vplyvov.

Monitorovanie objemovej aktivity radónu v pôde a v zdrojoch podzemných vôd bol cielený do oblastí s potvrdeným výskytom vyššieho radónového rizika. Výber lokalít prebehol na základe hodnotenia starších prieskumných prác, zaoberajúcich sa problematikou prírodnej rádioaktivity, v snahe zadokumentovať zmeny resp. variácie radónu v rôznych geologických jednotkách.

Monitorovaný objekt pôdneho radónu predstavuje referenčná plocha (RP), ktorú tvoria body (sondy pre odber vzoriek pôdneho vzduchu) usporiadané v profilochoch, či v nepravidelnej sieti na ploche cca do 400 m<sup>2</sup>. Základný počet bodov v rámci RP je 16 sond, t.j. minimálny štatistický súbor pre zhodnotenie radónového rizika RP. Pozícia jednotlivých bodov v rámci RP pri opakovaných monitorovacích prácach je zrovnateľná. RP sú monitorované raz ročne, minimálne jedna RP je monitorovaná s väčšou frekvenciou za účelom lepšieho posúdenia klimatických vplyvov v období marec až november. Pôdny vzduch pre stanovenie koncentrácie radónu sa odoberá cez ručne zatĺkané sondy, z ktorých po zahĺbení do hĺbky cca 0,8 m a utesnení sa najskôr odsaje vzduch atmosférický, následne je realizovaný samotný odber vzorky pôdneho vzduchu do dekontaminovanej a evakuovanej scintilačnej Lucasovej komory (LK) o objeme 125 ml. LK je kalibrovaný scintilačný detektor, ktorý sa po napustení pôdnym vzduchom transportuje na meranie objemovej aktivity radónu (OAR). Pri monitorovaní pôdneho radónu sú v teréne zaznamenávané údaje o počasí, zrážkach, teplote pôdy v hĺbke cca 10 cm, pri zemi a vo vzduchu vo výške 1 m a atmosférický tlak.

Monitorované zdroje podzemných vôd predstavujú zväčša známe pramene prístupné pre verejnosť. Vzorky vody pre stanovenie <sup>222</sup>Rn vo vode sú odoberané

do sklenených vzorkovníc so zabrúseným hrdlom doplna (cca 300 ml), bez vzduchovej bubliny. Pri odbere vody je súčasne meraná vonkajšia teplota, teplota vody a výdatnosť vodného zdroja. V laboratórnych podmienkach je radón zo vzorkovníce prebublávaný cez premývačku do dekontaminovaných a evakuovaných LK o objeme 600 ml, ktoré sa následne merajú kalibrovaným meracím zariadením metodikou zhodnou s meraním objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu.

Postup rádiometrických meraní a hodnotenia radónu v geologickom prostredí je určený metodikou a Príručkou kvality QA – PRK/01-02, ktorá je vypracovaná podľa normy Európskej únie EN ISO/IEC 17 025 „Všeobecné požiadavky na spôsobilosť skúšobných a kalibračných laboratórií“ a ktorá bola pre našu organizáciu schválená Úradom pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR. Spôsob stanovenia objemovej aktivity radónu ( $c_A$ ) v pôdnom vzduchu a priepustnosti základových pôd je tiež v súlade s ustanoveniami zákona č. 126/2006 Z.z. o verejnom zdravotníctve a podľa nariadenia vlády SR č. 350 z 10. mája 2006, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia.

Pri meraní objemovej aktivity radónu sa používajú okalibrované a metrologicky overené meracie zariadenia typu LK-1, LK-2 a LK-4, ktoré využívajú princíp scintilačnej detekcie žiarenia alfa v Lucasových komorách.

Merania vzoriek pôdneho vzduchu v LK sú realizované na základni najskôr 210 minút a najneskôr 24 hodín po napustení komory, t.j. po dosiahnutí stavu rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a jeho dcérskymi produktmi.

Objemová aktivita radónu v pôde  $c_A$ , predtým tiež označovaná symbolom  $a_v$ , sa určuje podľa vzťahu:

$$c_A = a_v = (N_v - N_p) / k \cdot V \cdot R(t_v, t_r) \quad ; \quad [ \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3} ]$$

- kde :
- $N_v$  - nameraný počet impulzov vzorky pôdneho vzduchu za čas  $t_v$
  - $N_p$  - nameraný počet impulzov pozadia za čas  $t_v$
  - $k$  - koeficient účinnosti merania stanovený na základe kalibrácie meracieho systému
  - $V$  - objem vzorky vzduchu ( $V = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ )
  - $R(t_v, t_r)$  - korekčný faktor zohľadňujúci rádioaktívnu premenu od odberu vzorky po koniec merania a zároveň aj stav posuvnej rádioaktívnej rovnováhy medzi  $^{222}\text{Rn}$  a jeho dcérskymi produktmi rozpadu v LK. Pri meraní (3,5 hod po napustení LK) je dosiah-

nutý stav rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a jeho dcérskymi produktmi. Zanedbaním poklesu aktivity radónu v priebehu merania ( $t_v$ ), môžeme dostatočne presne pre  $t_r \geq 210$  min a ľubovoľné  $t_v$  určiť  $R(t_v, t_r)$  zo vzťahu:  $R(t_v, t_r) = 3 \cdot t_v \cdot e^{-\lambda t_r}$  (sec)

- $t_v$  - časový interval merania LK v sekundách, obvykle 400 sec
- $t_r$  - doba od napustenia vzorky pôdneho vzduchu do LK do začiatku merania v minútach
- $\lambda$  - rozpadová konštanta  $^{222}\text{Rn}$  ( $0,000125884 \text{ min}^{-1}$ )

Radónové riziko referenčnej plochy je hodnotené v súlade so Smernicou Ministerstva životného prostredia MŽP SR č. 1/2000-3 na zostavovanie a vydávanie máp prírodnej a umelej rádioaktivity a podľa metodiky regionálneho výskumu radónového rizika (Barnet I. et al, 1989), kde sú doporučené hranice pre stanovenie troch kategórií radónového rizika na základe vzájomného zhodnotenia meranej objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti zemín (riziko I – nízke, riziko II – stredné, riziko III – vysoké), podľa nasledovnej tabuľky č. 1:

Tab. č.: 1 Stanovenie kategórie radónového rizika referenčnej plochy

KATEGÓRIA RADÓNOVÉHO RIZIKA	OBJEMOVÁ AKTIVITA RADÓNU [ $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		
	<i>Priepustnosť zeminy</i>		
	malá	stredná	dobrá
nízke – 1	< 30	< 20	< 10
stredné – 2	30 - 100	20 - 70	10 – 30
vysoké – 3	> 100	> 70	> 30

Pri hodnotení radónového rizika je tiež využívaný parameter „tretí kvartil“-3.q, v súlade s prílohou č. 7 k nariadeniu vlády SR č. 350/2006, kde sa požaduje postup stanovenia objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu podľa uvedeného parametra.

Plynopriepustnosť zemín sa určuje pre každú referenčnú plochu granulometrickým rozborom odobratej vzorky zeminy podľa percentuálneho podielu jemných častíc  $f$  (priemer častíc < 0,06 mm), čo je v nasledovnej tabuľke č. 2.

Tab. č.: 2 Stanovenie plynopriepustnosti pôd

Priepustnosť	Podiel jemných častíc	Trieda podľa STN 73 1001
malá	$f > 65 \%$	F5, F6, F7, F8
stredná	$15 \% < f < 65 \%$	F1, F2, F3, F4, S4, S5, G4, G5
dobrá	$f < 15 \%$	S1, S2, S3, G1, G2, G3

Objemová aktivita radónu vo vode  $c_A$ , resp.  $a_v$ , sa počíta podľa vzťahu :

$$c_A = a_v = (N_v - N_p) / k \cdot V_v \cdot R(t_v, t_r) \cdot e^{-\lambda t_F} \quad ; \quad [ \text{Bq} \cdot \text{l}^{-1} ]$$

kde :  $V_v$  - objem vzorky vody v premývačke v litroch

$e^{-\lambda t_F} = F(t_F)$  - koeficient, vyjadrujúci pokles aktivity  $^{222}\text{Rn}$  za dobu  $t_F$   
(doba od času odberu vzorky v teréne po čas prebublania – naplnenia LK)

$k$  - koeficient účinnosti merania stanovený na základe kalibrácie meracieho systému

ostatné symboly sú vysvetlené pri vzťahu pre výpočet objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu.

Z dôvodu vylúčenia vplyvu náhodnej chyby pri odbere vzorky vody resp. aj pri jej meraní, je monitorovaný objekt hodnotený na základe výsledkov z dvojice vzoriek vôd odobraných naraz v jeden monitorovací deň. Takto je zaručená väčšia objektivita a vyššia reprezentatívnosť výsledku.

### 3. PREHĽAD A VÝSLEDKY UROBENÝCH PRÁC

Monitoring radónu v geologickom prostredí na území SR bol v roku 2006 zameraný rovnako ako v predchádzajúcich rokoch na oblasti :

- pôdny radón na referenčných plochách (RP) – zvýšené radónové riziko vybraných miest
- pôdny radón na tektonike
- radón vo vodách.

Situácia monitorovacích miest, v databáze daná príslušným listom mapy  $M = 1 : 50\,000$  a súradnicami JTSK, je schematicky znázornená na obr. č. 1.

### 3. 1. PÔDNY RADÓN NA REFERENČNÝCH PLOCHÁCH – zvýšené radónové riziko vybraných miest

Monitorovacie merania pôdneho radónu v roku 2006 sa uskutočnili s rôznou frekvenciou meraní na šiestich lokalitách s výskytom stredného až vysokého radónového rizika (Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice, Košice – KVP, Novoveská Huta, Teplička, Hnilec).

Najväčší rozsah monitorovacích prác v rámci meraní objemovej aktivity radónu v pôde bol na RP Teplička a Novoveská Huta, ktoré boli monitorované počas roka celkom po 7x v období apríl – október (na každej lokalite celkom po 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Na lokalite Hnilec v extrémne vysokom radónovom riziku bola predmetom monitorovania RP v období apríl – október 4x (spolu 68 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Monitoring radónu v pôde na referenčných plochách v lokalite Bratislava – Vajnory a Banská Bystrica – Podlavice bol realizovaný po 2x (máj, september), čo predstavuje po 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu na jednotlivej lokalite. Okrem toho bol v tomto roku obnovený monitoring radónu v pôde 2x ročne (máj, október; spolu 34 sond) na referenčnej ploche v lokalite Košice – KVP, ktorej pozícia však nie je zhodná s RP monitorovanou do roku 1999 – je posunutá tesne k miestnej komunikácii k autobusovej zástavke KVP – Janigová. Celkový rozsah prác na referenčných plochách s možným výskytom radónového rizika všetkých lokalitách spolu, v roku 2006 predstavuje 24 monitorovacích dní a 408 hĺbených sond s rovnakým počtom odobraných a meraných vzoriek pôdneho vzduchu.

Štatistické spracovanie výsledkov meraní radónu v pôde na jednotlivých lokalitách sú v tab. č. 3.

Vysvetlivky k tabuľke č. 3 :

$c_A$	objemová aktivita radónu v pôde [ $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
N	počet meraných sond na referenčnej ploche (RP)
min $c_A$	minimálna hodnota objemovej aktivity radónu OAR z N
max $c_A$	maximálna hodnota objemovej aktivity radónu OAR z N
$\phi c_A$	stredná hodnota z N meraných hodnôt $c_A$
$\sigma a_v$	smerodatná odchýlka z N meraných hodnôt $c_A$
3. $q_{cA}$	tretí kvartil z N hodnôt $c_A$
Rn riziko:	I – nízke, II – stredné, III – vysoké
T	teplota: vzduchu, pri zemi, v pôde [ $^{\circ}\text{C}$ ]

### **Lokalita Hnilec**

Referenčná plocha je situovaná v južnej časti obce Hnilec, na jej okraji, vedľa štátnej cesty do Rožňavy. Nachádza sa v extrémne vysokom radónovom riziku, viazanom na zvetraný gemeridný granit. Aj v roku 2006 je udržiavaný trend najvyšších hodnôt OAR na Slovensku, ktoré sú klimatickými zmenami ovplyvňované minimálne. Obsahy radónu v pôde na tejto lokalite boli v roku 2006 o niečo nižšie v porovnaní s predošlým rokom, ale aj tak pri všetkých monitorovacích dňoch, hodnoty OAR v jednotlivjej sonde prekročili hodnotu  $1000 \text{ kBq.m}^{-3}$  s maximom  $1262 \text{ kBq.m}^{-3}$  nameranom v októbri. Stredná hodnota OAR v referenčnej ploche za obdobie celého roka bola  $433 \text{ kBq.m}^{-3}$ , stredná kvadratická odchýlka  $249 \text{ kBq.m}^{-3}$  a tretí kvartil sa pohyboval v intervale od  $454 \text{ kBq.m}^{-3}$  do  $520 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Podrobnejšie štatistické údaje sú v tabuľke č. 3.

### **Lokalita Novoveská Huta**

V podloží meranej referenčnej plochy sú permské sedimenty strednej plynopriepustnosti, ktoré sú záujmovom profile do 0,8 m vcelku homogénne.

Objemová aktivita radónu v sondách na danej ploche pri monitorovaní od jari až do prvého výskytu jesenných mrazov, dosahovala v roku 2006 ešte vyššie hodnoty ako v predchádzajúcich rokoch. Vysoké radónové riziko bolo zachované po väčšiu časť monitorovaného obdobia. Najväčšia hodnota OAR v jednotlivjej sonde v rámci tejto lokality bola nameraná v lete a dosiahla  $670 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Zaujímavý jav, zistený našimi monitorovacími prácami na danej lokalite už v predošlých rokoch, ktorý nastáva pravdepodobne iba v homogénnejšom a priepustnom prostredí pri výskyte prvých mrazov v jeseni resp. aj prízemných mrazov na jar pri nepremrznutej pôde, bol znovu zaznamenaný aj tohto roku v závere monitorovania pri meraniach radónu v pôde 10.10.2006. Pri uvedených podmienkach, v dôsledku vyššieho gradientu teploty pôdy a vzduchu je radón intenzívnejšie odsávaný do atmosféry, čím nastáva významný pokles hodnôt OAR, niekedy až k hranici nízkeho radónového rizika. V tomto roku poklesla stredná hodnota výsledkov merania radónu v októbri na  $42 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Grafické znázornenie koncentrácií radónu v pôde na tejto lokalite, jeho vývoj počas roka a porovnanie s predchádzajúcim obdobím je na obr. č. 2. Priebeh variácií OAR na danej lokalite v závislosti na ročnom období v rokoch 2001 – 2006 dokumentuje a vystihuje tiež obr. č. 3. Komplexné výsledky štatistického vyhodnotenia meraní sú v tabuľke č. 3.

### **Lokalita Teplička**

Referenčná plocha je založená v sedimentoch paleogénu strednej priepustnosti s výskytom málopriepustných ílovitých vrstvičiek, ktoré narúšajú homogenitu prostredia a pre samotný pohyb radónu v pôde predstavujú bariéru, takže tento plyn je viac zadržovaný v pôde a to hlavne pri zvýšenej vlhkosti.

Monitoring radónu v pôde na tejto ploche bol realizovaný mesačne v rovnakom období a v zrovnateľných klimatických podmienkach ako RP v Novoveskej Hute, od apríla do októbra. Hodnoty OAR počas celého monitorovacieho roka boli výrazne ovplyvňované vlhkosťou. V dôsledku vlhkeho počasia a zrážok v prvom polroku sú koncentrácie radónu v pôde vysoké a tiež úroveň radónového rizika je vysoká. V lete a hlavne v jeseni sa situácia mení vplyvom suchého počasia, dochádza k poklesu meraných hodnôt OAR v pôde (takmer dvojnásobnému) a tým aj k zníženiu kategórie radónového rizika na stredné, čo názorne vystihuje aj histogram na obr. č. 4. Histogram tu prezentuje výsledky monitorovania pôdneho radónu od roku 2002 a je tu vidieť evidentný vplyv vlhkosti (priama závislosť) aj v predošliých rokoch. V roku 2003 bolo od jari do jesene veľmi suché počasie (horúco a takmer bez zrážok) a v nasledujúcich dvoch rokoch 2004 a 2005 práve naopak v monitorovanom ročnom období bolo počasie s častými zrážkami. Extrémne sucho roku 2003 najviac znižilo obsahy radónu v pôde.

Výsledky komplexného štatistického spracovania meraní sú v tabuľke č. 3.

### **Lokalita Bratislava - Vajnory**

Referenčná plocha sa nachádza v oblasti stredného až vysokého radónového rizika a je viazaná na dobre priepustné štrky pliocénu. V roku 2006 bola monitorovaná podobne ako v roku predošlom 2 razy a to v mesiaci máj a september. Namerané maximum OAR v jednotlivjej sonde dosiahlo hodnotu 98 kBq.m<sup>-3</sup> v jarnom monitoringu, stredné hodnoty OAR boli 54 kBq.m<sup>-3</sup> a 28 kBq.m<sup>-3</sup>. Na jar boli obsahy radónu na úrovni vysokého radónového rizika, tretí kvartil OAR predstavoval hodnotu 79 kBq.m<sup>-3</sup>. Dlhodobejšie sucho v lete a na jeseň spôsobilo pokles koncentrácií radónu v pôde a tým aj úrovne radónového rizika na strednú kategóriu – tretí kvartil OAR dosiahol iba 38 kBq.m<sup>-3</sup>.

### **Lokalita Banská Bystrica – Podlavice**

Aj v roku 2006 pokračoval monitoring referenčnej plochy v oblasti dolomitov mladšieho triasu – tzv. uránové dolomity. Monitorovanie obsahov radónu v pôde sa uskutočnilo 2 razy a to v mesiaci máj a september. Namerané maximum OAR v jednotlivjej sonde dosiahlo hodnotu  $272 \text{ kBq.m}^{-3}$  v jarnom monitoringu, stredné hodnoty OAR boli  $107 \text{ kBq.m}^{-3}$  a  $73 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Na jar boli obsahy radónu na úrovni vysokého radónového rizika, tretí kvartil OAR predstavoval hodnotu  $123 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Sucho v lete a na jeseň spôsobilo určitý pokles koncentrácií radónu v pôde (cca o štvrtinu), avšak vysoká úroveň radónového rizika bola zachovaná – tretí kvartil OAR dosiahol  $99 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

### **Lokalita Košice – KVP**

V roku 2006 bol obnovený monitoring objemovej aktivity radónu na tejto lokalite na referenčnej ploche, ktorá nie je identická s plochou monitorovanou do roku 1999. Pôvodná plocha je neprístupná v dôsledku vzniku „divokej“ skládky odpadov plocha nového monitorovania je posunutá až k miestnej komunikácii, k autobusovej zástavke KVP – Janigova. Monitorovacie práce v roku 2006 boli realizované v jarnom a jesennom období a to v mesiaci máj a október. Maximum OAR v jednotlivjej sonde dosiahlo iba  $47 \text{ kBq.m}^{-3}$  v jarnom monitoringu s hodnotou tretieho kvartilu  $24 \text{ kBq.m}^{-3}$ , čo je stredná kategória radónového rizika. V dôsledku absencie vlhkosti v pôde na jeseň, nastal pokles koncentrácií radónu aj na tejto lokalite a vyhodnotená úroveň rizika z radónu sa dostáva na rozhranie nízke – stredné radónové riziko.

## **3.2. PÔDNY RADÓN NA TEKTONIKE**

Merania objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na tektonicky porušenej zóne boli realizované aj v roku 2006 v lokalite Grajnár, podobne ako v predošlých rokoch v letnom období, v mesiaci august. Vzorky pôdneho vzduchu boli odobraté v sondách s krokom 10 m na dvoch paralelných profiloch P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, dlhých 500 m, od seba vzdialených cca 10 m. Celkove bolo pri monitorovaní tektoniky v danom roku zmeraných 94 sond.

Na obr. č. 5 je graficky znázornený priebeh koncentrácií radónu pozdĺž týchto profilov. Výrazný prejav tektoniky sa opakovane potvrdzuje anomálnymi

koncentraciami radónu v kontaktnej zóne na obidvoch profiloch. Absolútne hodnoty objemovej aktivity radónu v roku 2006 boli relatívne vysoké, maximum OAR priamo nad porušenou zónou dosiahlo hodnotu  $101 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ .

### 3.3. RADÓN VO VODÁCH

Monitorovanie objemovej aktivity radónu v podzemných vodách, v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi, bolo v roku 2006 rozšírené o dve lokality a to Oravice a Ladmovce, kde bol vlastne obnovený monitoring, ktorý bol v roku 2001 prerušený. Vzorkovanie a meranie vybraných podzemných zdrojov vôd prebiehalo z rôznou frekvenciou:

- 2x za rok (jar a jeseň) v troch prameňoch prímestskej oblasti Bratislavy – prameň Mária, prameň Zbojníčka a prameň Himligárka,
- 6x za rok prameň Boženy Němcovej – Bacúch, v období február – november,
- 12x v priebehu celého roka – každý mesiac 1x prameň sv. Ondreja – Sivá Brada pri Spišskom Podhradí,
- 2x za rok (jar a jeseň) prameň Oravice pri vrte OZ-1
- 2x za rok (jar a jeseň) vrt Ladmovce – preliv, Zemplín

Výsledky meraní objemovej aktivity radónu vo vode sú vyhodnocované a štatisticky spracovávané vo forme tabuľkových prehľadov. V tab. č. 4 sú základné hodnoty z monitoringu radónu vo vodách roku 2006 a doplňujúce veličiny, ktoré sa pri monitorovacích prácach zaznamenávajú (teplota vzduchu a vody, výdatnosť zdroja). Výsledky štatistického spracovania nameraných koncentrácií radónu a výdatností sledovaných vodných zdrojov za obdobie 2001 – 2005 sú v tab. č. 5.

Vysvetlivky k tabuľke č.4 a 5 :

Rn	objemová aktivita radónu vo vode $c_A$ [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
Rn <sub>min</sub>	minimálna hodnota Rn za hodnotené obdobie [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
Rn <sub>max</sub>	maximálna hodnota Rn za hodnotené obdobie [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
avgRn	stredná hodnota Rn za hodnotené obdobie [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
stdRn	smerodatná odchýlka Rn za hodnotené obdobie [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
vRn	variačný koeficient Rn za hodnotené obdobie [ % ]
t	teplota vody, vzduchu [ °C ]
Q	výdatnosť vodného zdroja [ $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
avgQ	stredná hodnota Q za hodnotené obdobie [ $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

stdQ smerodatná odchýlka Q za hodnotené obdobie [ l.s<sup>-1</sup> ]  
vQ variačný koeficient Q za hodnotené obdobie [ % ]

Analýza štatistického zhodnotenia výsledkov meraní a ich analýzy v tab. č. 4 a 5 ukazuje, že stredné hodnoty koncentrácií radónu takmer pre všetky monitorované pramene sú za rok 2006 nižšie ako v roku predošlom a to hlavne v dôsledku výraznejšieho zníženia obsahov radónu vo vodách v letnom období.

**Pramene v Malých Karpatoch** (pramene Mária, Zbojníčka a Himligárka), ktoré boli toho roku monitorované dva razy (apríl, september) vykazovali v priebehu roka 8 – 22 % rozdiel v koncentráciách radónu na jar a v jeseni. Prameň Mária a Zbojníčka mali jarne hodnoty OAR nižšie ako v jeseni.

Výdatnosti týchto prameňov na jar boli opäť veľmi vysoké, presahovali 1 l.s<sup>-1</sup> a boli vôbec najvyššie od začiatku ich monitorovania od roku 1998. Najvyššia výdatnosť bola zaznamenaná na prameni Zbojníčka – až 2,857 l.s<sup>-1</sup>. Na druhej strane výdatnosti týchto zdrojov vôd pri jesennom monitoringu boli nepatrné (0,010 – 0,114 l.s<sup>-1</sup>) – v prameňoch Himligárka a Zbojníčka až o dva rády nižšie.

Na základe komplexnej analýzy výsledkov sa nedá povedať, že by obsahy radónu v týchto prameňoch boli ovplyvňované ich výdatnosťou.

Výsledky monitoringu z roku 2006 v **prameni sv. Ondreja – Spišské Podhradie** sú zaujímavé tým, že oproti roku predošlému majú výraznejšie maximum 210 Bq.l<sup>-1</sup> aj minimum 86 Bq.l<sup>-1</sup> na variačnej krivke objemovej aktivity radónu (obr. č. 6). Tohoročné maximum OAR bolo zaregistrované už v januári, kým v minulosti to bolo väčšinou koncom zimy v marci. Na minimum OAR klesli obsahy radónu v prameni v júli a významnejší nárast je registrovaný od októbra. Výdatnosti tohto zdroja boli v intervale 0,029 – 0,050 l.s<sup>-1</sup> bez korelácie na obsah radónu v podzemnej vode. Priemerná ročná výdatnosť tohto zdroja pokračuje je 0,041 l.s<sup>-1</sup>.

**Prameň Boženy Němcovej – Bacúch** bol v hodnotenom roku monitorovaný s frekvenciou cca 1x za 2 mesiace v období február – november. Maximálna hodnota objemovej aktivity radónu 335 Bq.l<sup>-1</sup> bola zaznamenaná v apríli a minimum s hodnotou okolo 190 Bq.l<sup>-1</sup> pokrývalo širšie obdobie jún – september (obr. č. 7). Výdatnosť prameňa počas roka sa menila minimálne, pohybovala sa 0,023 – 0,030 l.s<sup>-1</sup> s variačným koeficientom 9 % bez žiadnej korelácie na obsah radónu.

**Prameň Jašterčie OZ\_1 – Oravice.** Tento prameň bol už v minulosti monitorovaný do roku 2001, kedy bolo jeho sledovanie prerušené pre silné znečistenie prameniska výronom vody z blízkeho vrtu nad prameňom. V rokoch 1998 – 2001 sa merané hodnoty objemovej aktivity radónu v tomto prameni pohybovali v intervale 588 – 1407 Bq.l<sup>-1</sup>, pričom veľmi často presahovali hodnotu 1000 Bq.l<sup>-1</sup>, čo sú vôbec najvyššie hodnoty OAR namerané v prírodných vodách na Slovensku. Počas tohoročného monitoringu (apríl a september) bolo namerané na jar 690 Bq.l<sup>-1</sup> a v jeseni iba 382 Bq.l<sup>-1</sup>. Z vrtu nad prameňom stále mierne vyteká voda, ktorá sa zrejme dostáva aj do prameňa – riedi ho a čiastočne znižuje merané hodnoty.

**Vrt Ladmovce – Zemplín.** V minulosti monitorovaný preliv z vrtu do roku 2001 mal pomerne nízke obsahy radónu v intervale 8 – 18 Bq.l<sup>-1</sup>. V tomto trende pokračujú aj výsledky meraní objemovej aktivity radónu v tomto roku (apríl a september), ktoré boli bez ohľadu na obdobie veľmi vyrovnané 11 – 12 Bq.l<sup>-1</sup> aj keď jarný monitoring bol v období veľkej záplavy blízkej rieky Bodrog (zaliate polia aj okolie vrtu, ťažký prístup) a na jeseň bolo zas veľmi sucho.

#### 4. Z Á V E R

Monitorovanie radónu v geologickom prostredí v roku 2006 bolo realizované rovnako ako v predchádzajúcich rokoch na referenčných plochách (RP) – zvýšené radónové riziko vybraných miest, pôdny radón na tektonike, radón vo vodách – v prameňoch.

Monitorovacie merania radónu v pôde sa uskutočnili s rôznou frekvenciou na šiestich lokalitách s výskytom stredného až vysokého radónového rizika (Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice, Košice – KVP, Novoveská Huta, Teplička, Hnilec). Monitorovanie objemovej aktivity radónu na týchto lokalitách predstavuje 24 monitorovaní na RP, celkom v 408 sondách. V lokalite Novoveská Huta bola referenčná plocha monitorovaná 7x (spolu v 119 sondách) v období od apríla do októbra. Na lokalite Hnilec v extrémne vysokom radónovom riziku, v rovnakom období bola RP meraná 4x (spolu v 68 sondách). RP v lokalite Teplička bola monitorovaná podobne ako Novoveská Huta s frekvenciou 1x mesačne v období apríl - október, celkom 7x za rok v 119 sondách. Na referenčných plochách v lokalite Bratislava – Vajnory boli 2 monitorovacie dni (máj a september, spolu 34 sond) a v Banskej Bystrici – Podlavice tiež dve merania RP v rovnakom

období – 34 sond. Obnovený monitoring radónu bol na neidentifickej RP v lokalite Košice – KVP (máj a október, spolu 34 sond).

Rovnako aj v tomto roku pokračoval monitoring radónu v lokalite Grajnár na tektonicky porušenej zóne na dvoch súbežných profiloch dlhých 500 m. Sondy boli vyhlíbené a ovzorkované na pôdny radón s krokom 10 m, spolu 94 sond.

Radón vodných zdrojov bol monitorovaný 2x za rok (jar a jeseň) v prameňoch: prameň Mária – Bratislava, prameň Zbojníčka – Bratislava, prameň Himli-gárka – Bratislava. Prameň sv. Ondreja – Spišské Podhradie (Sivá Brada) bol monitorovaný 1x za mesiac v priebehu celého roka. S frekvenciou meraní v intervale cca po dvoch mesiacoch (6x za rok), pokračoval monitoring prameňa Boženy Němcovej – Bacúch. Okrem toho bolo obnovené prerušené monitorovanie dvoch vodných zdrojov z roku 2001 a to prameň Jašterčie OZ\_1 – Oravice a vrt Ladmovce – Zemplín, oba s meraniami 2x ročne (jar, jeseň).

Údaje z meraní objemovej aktivity radónu sú vyhodnocované a štatisticky spracovávané vo forme tabuľkových prehľadov a grafov a zostavovaná je databáza údajov v predpísanej, schválenej štruktúre.

Klimatické podmienky pri monitorovaní pôdneho radónu v roku 2006 je možné zrovnávať s predchádzajúcim rokom iba v časti roku – cca prvý polrok, nakoľko po oba roky bolo pomerne dlhé obdobie zimy s častými zrážkami na jar, ktoré pozitívne ovplyvňovali vlhkosť pôdy a tým aj šírenie radónu v horninách. V dôsledku toho dosahovali merania objemovej aktivity radónu v tomto období pomerne vysoké hodnoty na všetkých lokalitách. Odlišná situácia nastáva v druhom polroku, hlavne na jeseň v dôsledku dlhšie trvajúceho suchého počasia, kedy prakticky všetky lokality vykazujú významný pokles hodnôt OAR, dokonca niektoré lokality s následkom zníženia kategórie radónového rizika (Bratislava-Vajnory, Košice – KVP, Teplička). Tieto výsledky dokazujú existenciu variácií radónu v pôdach v priebehu roka a tiež silnú závislosť na meteorologických podmienkach s určitými odlišnosťami v jednotlivých lokalitách, v dôsledku rozdielnosti geologického zloženia prostredia ktorým radón prechádza.

Významný faktor poklesu objemovej aktivity radón v pôde vo vysokoradónovej ploche na lokalite Novoveská Huta, kedy vplyvom prudkého ochladenia v jeseni pri prvých mrazoch sú koncentrácie radónu v pôde tak nízke, že znižujú kategóriu radónového rizika referenčnej plochy sa opäť zopakoval. Pravdepodobne je to dôsledok značného teplotného gradientu medzi ešte nepremrznutou rela-

tívne teplou pôdou a nízkou teplotou ovzdušia, čím dochádza k silnému odsatiu radónu z pôdy do atmosféry. Uvedený jav je na tejto lokalite opakovane registrovaný každý rok od začiatku monitoringu, najčastejšie v 1-2 dekáde októbra. Pri tohoročnom monitorovaní 10.10.2006 ( $-2^{\circ}\text{C}$ , tlak 1025 hPa) stredná hodnota OAR -  $42 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$  bola 2 až 3-násobne menšia v porovnaní s ostatným monitorovacím obdobím daného roka. Aj keď tento faktor prudkého zníženia OAR na danej lokalite je dokázaný, pretože sa opakuje každý rok od začiatku monitoringu už od roku 1998, zatiaľ nie je možné ho zovšeobecniť pre každé geologické prostredie. Tento fakt vyžaduje podrobnejšie skúmanie všetkých možných vplyvov, hlavne detailnú analýzu geologického profilu referenčných plôch.

Monitoring pôdneho radónu na tektonike v lokalite Grajnár potvrdzuje jednoznačný prejav tektonickej zóny a to výraznými anomálnymi koncentráciami OAR. Absolútne hodnoty OAR boli zrovnateľné s predošlým rokom.

Objemová aktivita radónu v monitorovaných zdrojoch podzemných vôd tiež podlieha variáciám, ktoré na rozdiel od pôdneho radónu majú pozvoľnejší sinusoidný charakter, bez výraznejších krátkodobých vplyvov a nie sú natoľko citlivé na rôzne krátkodobé atmosférické zmeny počasia (teplota, atmosférický tlak). Priebeh ročných variácií radónu vo vodách má svoju pravidelnosť v náraste koncentrácií v zime s maximom na jej konci resp. na jar a s minimom v lete až jeseň. Koeficient pomeru maximálnej a minimálnej hodnoty obsahov radónu v hodnotenom roku pre prameň sv. Ondreja je 2,44 a je vyšší ako v roku 2005 a pre prameň B. Němcovej s hodnotou 1,77 je na zrovnateľnej úrovni. Pramene monitorované len dva razy v roku (jar, jeseň), v prevahe vykazujú podstatne vyššie obsahy radónu na jar ako na jeseň.

Monitorovanie radónu v geologickom prostredí v roku 2006 nadväzuje na predchádzajúce obdobie a prináša nové výsledky a poznatky o variabilite radónu v horninách a vodách, ktoré treba považovať za prínos najmä pre objektivizáciu hodnotenia radónového rizika.

Finančný objem prác na riešenie podsystému 13 „Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky“ v roku 2006 predstavoval čiastku 530 000 Sk.

Účinné zavádzanie opatrení na ochranu zdravia ľudí a zvýšenie celkovej kvality života si vyžaduje hodnoverné informácie, ktoré sa môžu získať iba štatistickým spracovaním dlhodobejšie realizovaných monitorovacích systémov a ktoré

následne môžu dať relevantný podklad pre prijatie obecnějších záverov a tiež pre rozhodovacie procesy v tejto sfére. K naplneniu takýchto cieľov prispieva aj realizácia zámerov daného projektu. Monitoring radónu poskytuje informácie o špecifickej oblasti rádioaktivity z prírodných zdrojov, ktorá je považovaná za významnú z hľadiska možnej expozície obyvateľstva.

## 5. LITERATÚRA

Barnet I., Kulajta V., Matolín M., Veselý V., 1989: Návrh hodnocení základových púd z hlediska vnikání radonu do budov, manuskript, archiv ÚÚG Praha

Barnet I., Kulajta V., Neznal M., Matolín M., Prokop P., 1992: Hodnocení základových púd z hlediska vnikání radonu do bytů, Geologický průzkum 4, str.114-115

Nariadenie vlády SR č. 350/2006 o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia

Príručka kvality QA – PRK/01 – 02, ŠGÚDŠ Bratislava

Smolárová H., 2002: Monitorovanie radónu v geologickom prostredí. In: Geologické práce, správy 106, ŠGÚDŠ Bratislava, s. 139 – 145

Smernica Ministerstva životného prostredia SR č. 1/2000-3 na zostavovanie a vydávanie máp prírodnej a umelej rádioaktivity, MŽP SR Bratislava

Zákon NR SR č. 126/ 2006 Z.z. o verejnom zdravotníctve a o zmene a doplnení niektorých zákonov